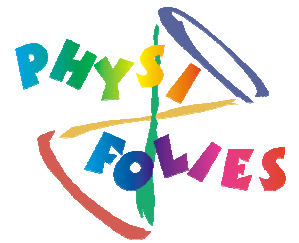


Les Supraconducteurs



www.physifolies.fr

Qu'est-ce que c'est?



Un métal conducteur standard comme le cuivre possède une résistance électrique. C'est sous l'action de cette résistance qu'un fil parcouru par un courant s'échauffe: c'est l'effet Joule.



Au contraire, les matériaux supraconducteurs ont une résistance électrique nulle: ils ne s'échauffent jamais sous l'action d'un courant électrique. Ils sont également capables d'exclure les champs magnétiques, avec comme conséquence spectaculaire la lévitation magnétique.

Des câbles supraconducteurs pour transporter du courant.

Si les câbles des lignes haute tension sont remplacés par des fils supraconducteurs, la résistance s'annule et il n'y a donc plus de perte d'énergie (voir encadré Pourquoi des lignes haute tension). Les compagnies d'électricité s'intéressent donc de plus en plus aux supraconducteurs. En 2007, un tronçon supraconducteur de 600 m a pour la première fois été intégré à un réseau électrique urbain, à Long Island, près de New York. Le câble est refroidi en permanence à une température de -198°C avec un flux continu d'azote liquide. La liaison est triphasée et transporte 600 MW (138 kV, 2400 A).

Pourquoi des lignes haute-tension?

La puissance transportée par une ligne électrique est proportionnelle au courant électrique et à la tension.

$$\text{puissance} = \text{courant} \times \text{tension}$$

Par exemple, pour une tension de 220 Volts et un courant de 1 Ampère, l'énergie transportée est de 220 Watts.

$$220 \text{ Watts} = 1 \text{ Ampère} \times 220 \text{ Volts}$$

Les producteurs d'électricité comme EDF doivent transporter le maximum de puissance dans une ligne électrique pour ne pas multiplier les infrastructures. Ils peuvent choisir entre des lignes à haut courant ou des lignes à haute tension. Pour alimenter 100 000 foyers (soit 200 MégaWatts), il faudrait:

$$\begin{aligned} \text{Haut courant (moyenne tension)} &: 200 \text{ MW} = 6700 \text{ A} \times 30 \text{ kV} \\ \text{Haute tension} &: 200 \text{ MW} = 526 \text{ A} \times 380 \text{ kV} \end{aligned}$$

Mais les lignes s'échauffent sous l'action du courant et de la résistance. La puissance de la chaleur produite par effet Joule est proportionnelle à la résistance et au carré du courant électrique.

$$\text{Puissance chaleur} = \text{résistance} \times \text{courant}^2$$

Les câbles de cuivre ou d'aluminium utilisés dans les lignes haute tension ont une résistance d'environ 0.05 Ohms/km, soit 5 Ohm pour 100 km. La puissance dissipée sous forme de chaleur au bout de 100 km serait donc:

$$\begin{aligned} \text{Haut courant (moyenne tension)} &: 5 \times 6700^2 = 224 \text{ MW} \\ \text{Haute tension} &: 5 \times 526^2 = 1,4 \text{ MW} \end{aligned}$$

Dans un transport à haut courant, toute l'énergie électrique a été transformée en chaleur avant même d'atteindre les 100km (au bout de 89 km exactement). Et en fait, sous l'action de cette chaleur, les fils auraient fondu depuis longtemps! Sur les lignes haute tension utilisées par EDF, on a quand même perdu 1,4 MW au bout de 100 km, soit près de 1% de l'énergie totale! Et la température des câbles peut s'élever jusqu'à 80°C ! On voit donc l'intérêt d'utiliser des supraconducteurs avec une résistance nulle, et donc aucune perte d'énergie!

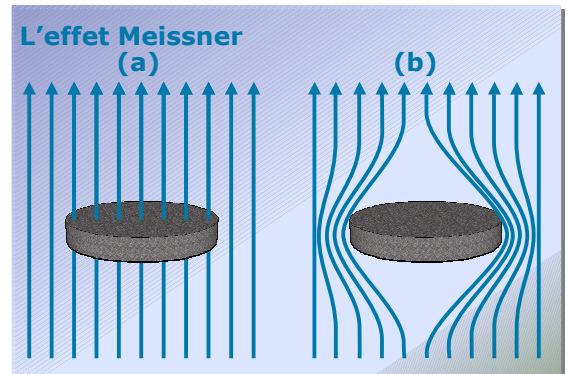
Une question de température...



C'est en 1911 que Gilles Holst, étudiant en physique sous la direction du physicien néerlandais Heike Kamerlingh Onnes, découvre que le mercure refroidi à une température de $-268,8^{\circ}\text{C}$ (4,2 K) perd brutalement toute résistance électrique. On comprendra très vite que tout supraconducteur possède une température critique T_C : en dessous de T_C , il est supra-conducteur; au dessus, il ne l'est plus.

En 1933, les physiciens allemands Walter Meißner et Robert Ochsenfeld découvrent qu'un échantillon supraconducteur soumis à un champ magnétique extérieur expulse celui-ci: c'est l'effet Meissner. L'effet Meissner est illustré ci-contre: dans un matériau normal (schéma a), le champ magnétique est le même à l'intérieur et à l'extérieur. Un supraconducteur repousse les lignes de champ (schéma b) et va ainsi léviter dans le champ magnétique.

En 1957, les physiciens américains John Bardeen, Leon Cooper et John Schrieffer élaborent la théorie BCS, qui explique pour la première fois la provenance de la supraconductivité. Il aura fallu près de 40 ans pour qu'une explication satisfaisante de la supraconductivité soit trouvée. Il s'agit en fait d'un phénomène quantique d'appariement des électrons.



En mars 1986, après 75 ans de recherches, le supraconducteur ayant la température critique la plus élevée est le niobiure de Germanium (Nb_3Ge). Elle est encore de $T_C = -250^{\circ}\text{C}$ (23,3K). Pour atteindre des températures aussi basses, on utilise l'hélium liquide, coûteux et très contraignant. Les applications industrielles de la supraconductivité s'en trouvent donc très ralenties.

Des supraconducteurs à haute température

En avril 1986, le physicien suisse Karl Müller et le physicien allemand Johannes Georg Bednorz élaborent un nouvel alliage à base de lanthane, dont la température critique monte à 35 K. C'est le début d'une nouvelle ère: moins d'un an plus tard, le seuil des -196°C (77K) était franchi. -196°C , c'est la température de l'azote liquide, beaucoup moins chère à produire et bien plus facile à manipuler que l'hélium liquide. Les supraconducteurs entrent dans l'ère industrielle!

5 prix Nobel pour la supraconductivité!

1913: prix Nobel de physique à Heike Kamerlingh Onnes pour ses recherches sur les propriétés de la matière à basse température, qui menèrent, entre autres, à la production de l'hélium liquide.

1972: prix Nobel de physique à John Bardeen, Leon Neil Cooper et John Robert Schrieffer pour la théorie qu'ils ont développée conjointement sur la supraconductivité, appelée maintenant la théorie BCS.

1973: prix Nobel de physique à Leo Esaki, Ivar Giaever et Brian David Josephson pour leurs découvertes expérimentales concernant l'effet tunnel dans les semiconducteurs et les supraconducteurs.

1987: prix Nobel de physique à J. Georg Bednorz et K. Alexander Müller pour leur importante percée dans la découverte de la supraconductivité dans les céramiques.

2003: prix Nobel de physique à A.A. Abrikosov, V.L. Ginzburg et A.J. Leggett pour leurs contributions innovantes à la théorie des supraconducteurs et des superfluides.

